

文章编号:0253-9985(2005)03-0305-05

塔里木盆地奥陶系层序地层格架及其对碳酸盐岩储集体发育的控制

于炳松, 陈建强, 林畅松

(中国地质大学, 北京 100083)

摘要:在纵向上,塔里木盆地奥陶系中可识别出了18个三级层序、5个超层序和2个超层序组。平面上,由西往东奥陶系沉积由碳酸盐台地依次过渡为斜坡相和盆地相,其层序的发育呈现由西向东的不断前积,一系列呈前积型的层序向东下超在一个较大规模的下超面上。不同级别的层序界面对塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩储层的发育具有重要的控制作用。三级层序界面导致的短暂暴露及其同生期的成岩作用对台地边缘礁滩相储集体的改造具有重要的促进作用,而与高级别层序界面相对应的大型不整合面是控制塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩岩溶储层发育的关键。

关键词:碳酸盐岩;层序地层格架;储集体;奥陶系;塔里木盆地

中图分类号:TE111.3

文献标识码:A

Sequence stratigraphic framework and its control on development of Ordovician carbonate reservoir in Tarim basin

Yu Bingsong, Chen Jianqiang, Lin Changsong

(China University of Geosciences, Beijing)

Abstract: Vertically, the Ordovician in Tarim basin can be divided into 2 supersequence groups, which can be further divided into 5 supersequences and 18 third-order sequences. Laterally, from west to east, the Ordovician deposits transit successively from platform facies to slope and basin facies, and the development of stratigraphic sequences appear to be progressive progradation resulting in the downlapping of a series of prograded sequences onto a relatively large downlapping surface. Sequence boundaries of various orders have important control on the development of Ordovician carbonate reservoirs in Tarim basin. The transient exposure caused by the third-order sequence boundaries and the synchronous diagenesis would have facilitated the modification of reef-bank facies reservoirs on the edge of the platform corresponding the large unconformities, which correspond to the sequence boundaries of higher levels might be the key factors that have controlled the development of the Ordovician carbonate karstic reservoirs in Tarim basin.

Key words: carbonate rocks; sequence stratigraphic framework; reservoir; Ordovician; Tarim Basin

塔里木盆地奥陶系是一套以碳酸盐岩为主的地层,其岩性组成既有灰岩又有白云岩,其沉积相带分别属于局限台地相、开阔台地相、台缘礁滩相、台缘斜坡相、广海陆棚相、滞流陆棚相和盆底扇相等^[1~3]。已有研究证实,其岩石基质孔隙度和渗透率均很低,属特低孔、特低渗储层^[4]。因此,原始沉积的奥陶系碳酸盐岩大部分难于直接

成为良好的储集体,能成为优质储层的必然是经过岩溶、白云石化等改造的碳酸盐岩储集体。

岩溶的发育受不同级别的层序界面所控制。James 和 Choquette 识别出3种类型的古代岩溶^[5]:一种形成于向上变浅的米级旋回的顶部;另一种是由于局部性大地构造作用或海平面下降使得大部分碳酸盐岩台地暴露于大气淡水作用带下形成

基金项目:国家“973”重点基础研究发展规划项目(G1999043304, 2005CB422103);国家自然科学基金项目(40472064, 40228004)

第一作者简介:于炳松,男,42岁,教授,沉积学与储层地质学

收稿日期:2005-04-25

的局部性岩溶;还有一种是与在区域性全球大地构造事件作用下形成的区域性不整合面有关的大型风化壳古岩溶。这些岩溶储层均发育在不同级别的层序界面以下。台地边缘高能相带经回流渗透白云石化和混合水白云石化形成的优质白云岩储集体也与海平面周期性下降造成的泻湖水体的咸化和浅滩相带的暴露遭受大气淡水的影响有关^[6]。这些现象说明,层序地层格架对碳酸盐岩储集体的发育具有重要的控制作用。塔里木盆地寒武系—奥陶系的层序地层研究已取得了相当多的研究成果^[1,2,7~9],但就层序地层格架对储层发育控制的研究,总体而言尚处在资料积累阶段^[10,11]。本文试图将塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩储层纳入到层序地层格架中,探讨这套优质储集体的形成、发育和展布。

1 层序地层格架

1.1 纵向序列

在对柯坪露头剖面进行详细野外测量和室内分析研究的基础上,将奥陶系划分为2个超层序组(图1),它们对应于上超点变化曲线和全球海平面变化曲线中的大型升降旋回。两个超层序组之

间的界面相当于中、下奥陶统(达瑞威尔阶)与上奥陶统艾家山阶之间的界面,在地震剖面中(如E59线)对应于Tg5'反射界面(图2),钻井剖面上大多为明显的平行不整合面。但在柯坪地区,该超层序界面位于滞流陆棚相的黑色笔石页岩层中(图1),很显然在这套黑色页岩中并不存在沉积间断。这是由于层序界面形成时柯坪地区快速的基底沉降造成的。由此可见,地区性的构造因素在层序形成时有时起着十分重要的作用。

奥陶系第一个超层序组相当于中、下奥陶统的新厂阶—达瑞威尔阶。在露头剖面中该超层序组发育有3个超层序、10个三级层序,主要由各种类型的白云岩、白云质灰岩组成。三级层序普遍缺少低水位或陆棚边缘体系域的沉积,而主要发育TST(海进体系域)和HST(高水位体系域)。层序1~3为第一个超层序,三级层序呈进积型式叠置,自下而上水体由深变浅,沉积环境为开阔碳酸盐台地相;层序4~6为第二个超层序,呈加积—退积型式叠置,总体有向上变深的趋势,沉积环境为开阔碳酸盐台地相;层序7~10构成第三个超层序,层序的叠加型式为退积—进积式,总体发育在滞流陆棚环境中。

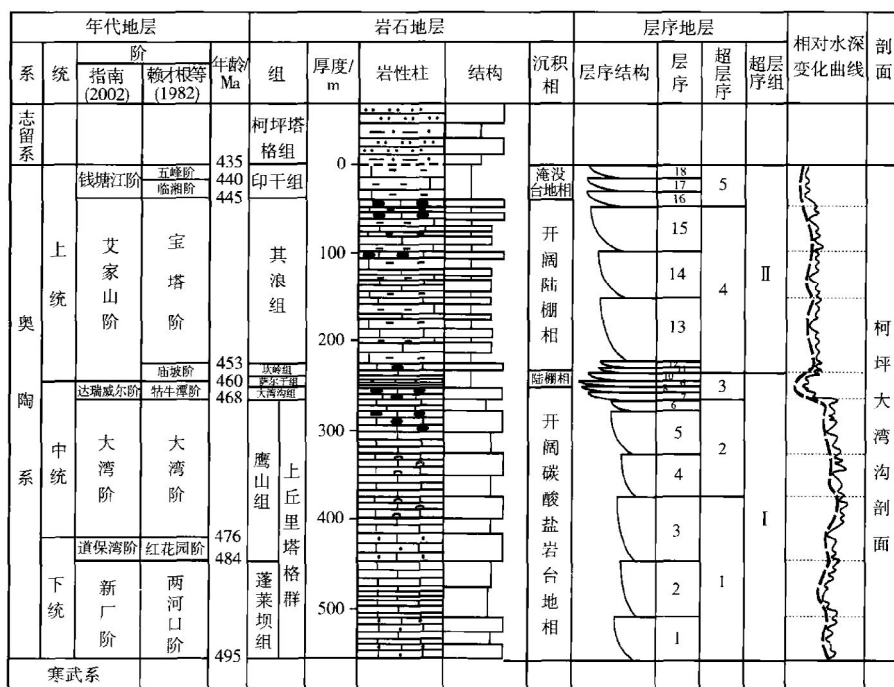


图1 塔里木盆地奥陶系层序地层系统

Fig.1 Sequence stratigraphic system of the Ordovician in Tarim basin

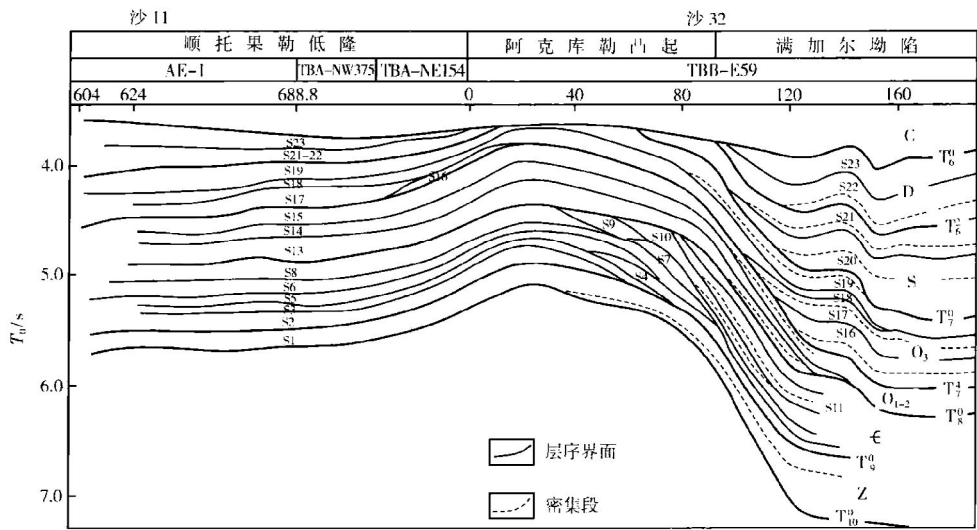


图 2 塔里木盆地奥陶系地震层序地层系统^[7]

Fig.2 Seismic sequence stratigraphic system of the Ordovician in Tarim basin

奥陶系第二个超层序组相当于中、上奥陶统的艾家山阶—钱塘江阶。在露头剖面中该超层序组发育 2 个超层序、8 个三级层序,主要由各种类型的颗粒灰岩、泥晶灰岩和泥质岩组成。三级层序内各体系域发育较为完整,其浪组中有的三级层序发育低位楔重力流沉积。层序 11~15 为第四个超层序,三级层序呈进积型式叠置,自下而上水

体由深变浅,沉积环境为开阔陆棚相;层序 16~18 为第五个超层序,三级层序呈退积型叠置,总体向上变深(印干组),沉积环境为开阔陆棚—淹没台地相。

1.2 横向展布

通过塔里木盆地东西向露头 and 连井剖面的分析(图3),结合地震层序地层格架(图2),建立了

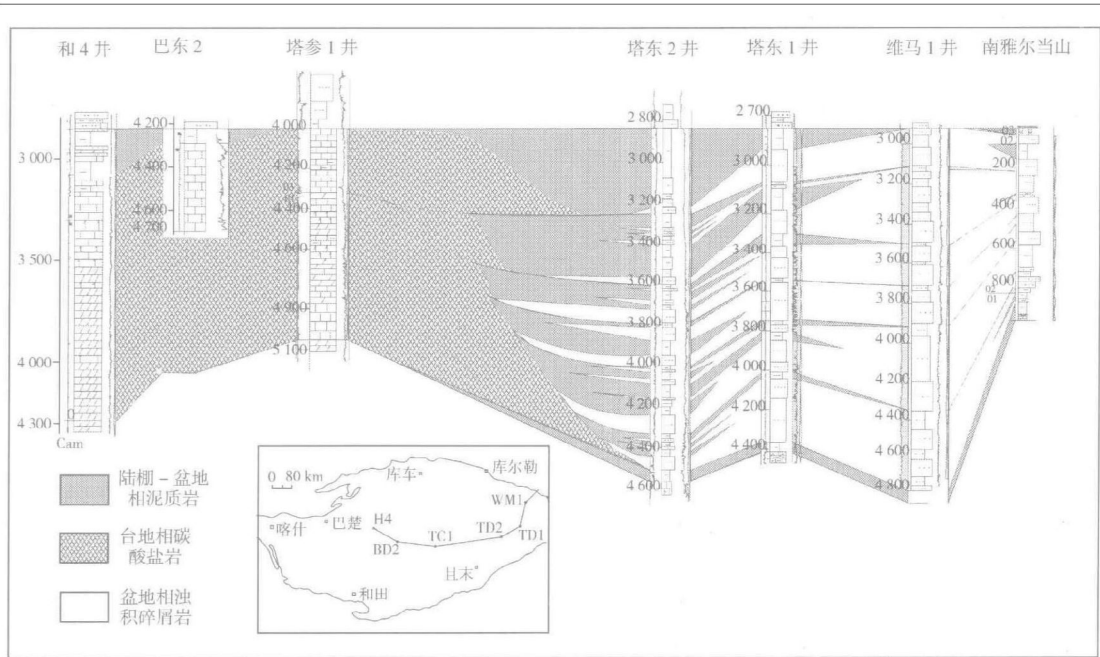


图 3 塔里木盆地奥陶系层序地层对比剖面

Fig.3 Correlation of Ordovician sequence stratigraphy in Tarim basin

塔里木盆地奥陶系的层序地层格架。其主要特点是:西部为碳酸盐台地,向东依次过渡为斜坡和盆地相。其层序的发育呈现由西向东的不断前积,一系列呈前积型的层序向东下超在一个较大规模的下超面上,构成大型复合密集段(CS)。西部台地相区则出现 TST-HST 叠加 TST-HST 或 HST 叠加 HST 的层序构成样式。在北部的柯坪-乌什一带出现深水陆棚-滞流海湾相,发育有 CS 沉积;中东部的阿克库勒及其以南地区,发育一明显的向东倾伏的斜坡,上奥陶统在东部满加尔凹陷内发育有多套低水位重力流碎屑岩。

2 储集体在层序地层格架中的分布

塔里木盆地奥陶系发育有3种类型的碳酸盐岩储集岩:一是局限台地和台缘浅滩相白云岩;二是开阔台地和局限台地相石灰岩;三是台地边缘礁滩相生物礁灰岩和颗粒灰岩。

2.1 局限台地和台地边缘浅滩相白云岩

白云岩储层主要发育在寒武系一下奥陶统,其岩石类型主要有3大类,即结晶白云岩、残余颗粒白云岩和隐藻白云岩。

结晶白云岩从泥微晶一中粗晶白云岩均有出现。其中泥微晶白云岩晶体细小、成层性好、分布广,主要为准同生回流渗透白云石化作用的产物。该类白云岩的储集物性相对较差。而中粗晶白云岩晶粒粗大,具典型的亮边雾心结构,属典型埋藏期的后生白云岩,晶间孔发育,储集物性好。残余颗粒白云岩保存有较好的原始结构构造,是台缘浅滩相颗粒灰岩在同生期遭混合水白云石化作用的产物。白云石化改造使颗粒灰岩的储集物性明显变好。隐藻白云岩包括藻纹层白云岩、藻凝块白云岩、藻粘结白云岩、藻叠层(叠层石)等与藻类生物作用有关的白云岩,是准同生期潮上带蒸发泵吸白云石化作用的产物,在后期埋藏过程中可进一步遭受重结晶而使晶体变粗、物性变好。

局限台地和台地边缘浅滩相白云岩储层发育在高水位体系域,主要分布在局限台内泻湖、潮坪以及台地边缘或台内浅滩相带中,其形成主要与浅滩相带周期性暴露造成的大气淡水和海水的混合水白云石化作用有关。此类储集体的储集性能通常与白云石化作用的强度呈正相关关系。

2.2 开阔台地和局限台地相石灰岩

台地相灰岩储层的岩石类型主要有泥晶灰

岩、泥晶(含)云灰岩类和泥晶颗粒灰岩类。此类储集体的基质孔渗性均很差,后期的构造裂缝和溶蚀改造是改善其储集物性的关键。因此,此类储层通常受不同级别的层序界面(不整合面)所控制,构成裂缝型、缝洞型和孔洞型储集体。

该类灰岩储层发育在海进和高水位体系域中,主要分布在碳酸盐岩台地相区,受不同级别的层序界面控制明显。

2.3 台地边缘礁滩相生物礁灰岩和颗粒灰岩

该类灰岩主要发育在中、上奥陶统,其岩石类型主要有生物礁灰岩和各种亮晶颗粒灰岩。据目前塔中和塔河地区的钻井揭示,该套台地边缘礁滩相储集体的基质孔渗性也较差,同生期的混合水白云石化作用和淡水淋滤溶蚀是改善其储集物性的重要成岩作用。

礁滩相储集体发育于高水位体系域中,主要沿着中、晚奥陶世的台地边缘相带分布。

3 层序界面对岩溶储层的控制

3.1 三级层序界面

这种溶蚀作用发生于准同生期大气淡水成岩环境中。受三级海平面变化的控制,碳酸盐台上的粒屑滩、潮坪等极浅水沉积区,尤其是在海退沉积序列中,伴随海平面的暂时性相对下降,这些碳酸盐沉积物时而出露海面或处于淡水成岩透镜体内,在潮湿多雨的气候条件下受到富含 CO_2 的大气淡水的淋滤而发生溶蚀。这种溶蚀作用既可以发生于 CaCO_3 未饱和的大气水渗流带,也可以出现在渗流带之下未饱和的潜流带。在这种成岩环境中,既可以发生碳酸盐矿物的溶解,也可以造成它们的沉淀,这主要受该环境中水介质的 pH 值和碳酸钙饱和度的控制。这种岩溶作用在塔北和塔中均普遍发育。

在塔中地区同生期岩溶作用的研究中发现,塔中 12、15、161、24、30、42、44 和 45 井中识别出有大气成岩透镜体^[10]。在塔中 161 和 42 等井中最多识别出 4 个大气成岩透镜体。大气成岩透镜体的岩石中常出现诸如铸模孔、粒内溶孔、粒间溶孔、溶洞、渗流粉砂、大气水胶结物等特征的成岩组构,且大气淡水成岩透镜体的发育与层序界面具有密切相关性。塔中地区中、上奥陶统发育的几个淡水成岩透镜体均在某一层序界面以下^[10],说明了层序界面对同生期淡水成岩透镜体发育的

表1 塔北和塔中地区奥陶系岩溶特征对比表

Table 1 Comparison of the Ordovician karst features in Tabei and Tazhong areas

岩溶期次	塔 北		塔 中	
	强 度	表 现	强 度	表 现
印支—燕山期	J, K/O ₁	沙西北部局部发育	J, K/O ₁ 的不整合接触	不发育
海西晚期	T/O ₁	雅克拉—沙西强烈	T/O ₁ , C ₁ , Z不整合	不发育
海西早期	C ₁ /O ₁	阿克库勒强烈	C ₁ /O ₁ 不整合接触	塔中东部强烈 C ₁ /O ₁ 不整合
加里东中期	第三幕 (S/O)	整个塔北强烈	志留系覆盖在不同地层之上	塔中东部和中央主带强烈 S/O ₁ , O ₂₋₃ 不整合
	第二幕(良里塔格组/桑塔木组)	阿克库勒明显	地震解释超覆关系	不发育
	第一幕 (O ₃ /O ₁₋₂)	沙西较弱,阿克库勒围斜较强	颗粒氧化边,地震剖面上的上超	较强 O ₃ /O ₁₋₂ 平行不整合,上超

控制作用。层序界面形成时的海平面下降导致台地边缘礁滩相的碳酸盐岩暴露水面接受大气淡水淋滤而形成同生期大气淡水成岩透镜体。

3.2 二级、一级层序界面

塔里木盆地奥陶系发育多期与高级别层序界面相对应的不整合面岩溶,岩溶作用的强度受层序界面(不整合面)暴露时间和古岩溶地貌的控制。加里东期和海西期的岩溶作用对奥陶系储层影响最大。塔中和巴楚隆起区受加里东期不整合面岩溶影响强烈,导致在下奥陶统裸露区溶蚀孔洞发育,与裂缝一起构成复杂的孔、缝、洞系统。大型层序界面(不整合面)上不同古地貌单元控制了岩溶的发育特征。一般岩溶高地以发育垂直渗流带为特征,仅在其边缘发育水平岩溶带;同时,岩溶孔洞多被充填。岩溶斜坡的岩溶作用纵向分带明显,渗流、潜流带均发育,塔中地区分别达到18 m和13 m;溶蚀孔洞虽有充填,但保存率是最高的。岩溶谷地的充填作用严重,不利于岩溶储层的发育。

塔里木盆地古隆起区奥陶纪经历了多期岩溶作用。塔北地区奥陶纪碳酸盐岩岩溶作用以海西早期、海西晚期最为强烈,其次是加里东中期。塔中地区则主要为加里东中期第一幕和海西早期两期岩溶作用最强烈。相对而言,塔北地区奥陶系碳酸盐岩所经受的岩溶期次多、暴露时间长,而塔中地区奥陶系碳酸盐岩的岩溶期次少、暴露时间相对较短,但加里东中期第一幕的岩溶作用特征在两地区有许多共同之处(表1)。

加里东中期第一幕不整合面,即相当于奥陶系两个超层序组之间的大型层序界面。塔中地区目前发现的岩溶作用主要发育在该界面下。塔北地区在阿克库勒凸起上,由于该界面以上长期暴

露,多期不整合面叠加,构成一个大型的复合层序界面,在其下的中、下奥陶统碳酸盐岩中形成极好的岩溶储层。在阿克库勒凸起的南部围斜带上奥陶统覆盖区下,近年的钻井揭示了O₃/O₁₋₂之间的大型层序界面下发育有极好的不整合面岩溶孔洞。这套岩溶储层的发现,为进一步扩大塔河油田南部上奥陶统覆盖区下的油气资源潜力作出了重要贡献。

由此可见,塔里木盆地古隆起区碳酸盐岩岩溶储层的发育主要受不同级别的层序界面所控制。

4 结论

塔里木盆地奥陶系可划分为2个超层序组、5个超层序和18个三级层序。横向层序地层对比揭示,西部碳酸盐台地相区在海平面下降期可发生周期性的暴露而遭受溶蚀。这些不同级别的层序界面对其下碳酸盐岩储层的发育具有重要的控制作用。三级层序界面导致的短暂暴露及其同生期的成岩作用对台地边缘礁滩相储集体的改造具有重要的促进作用,而与高级别层序界面所对应的大型不整合面是控制塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩岩溶储层发育的关键。因此,建立层序地层格架,查明各级层序界面的时空分布规律,对于塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩储层的评价和预测具有重要的理论和实际意义。

参 考 文 献

- 1 乐昌硕,于炳松,田成,等.新疆塔里木盆地北部层序地层及其沉积学研究[M].北京:地质出版社,1996. 105
Yue Changshuo, Yu Bingsong, Tian Cheng, et al. Sequence stratigraphy and sedimentology in northern Tarim basin, Xinjiang[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996. 105

(下转第316页)

- 征及成因[J]. 现代地质, 1997, 11(4): 425 ~ 433
- Zhou Jiansheng, Yang Chiyang, Chen Fajing, et al. Structural characteristics and origin of transverse transfer zone in Huanghua subbasin [J]. Geoscience, 1997, 11(4): 425 ~ 433
- 16 赵重远. 渤海湾盆地的构造格局及其演化[J]. 石油学报, 1984, 5(1): 1 ~ 8
- Zhao Chongyuan. Structural pattern and evolution of Bohaiwan Basin, China [J]. Acta Petrolei Sinica, 1984, 5(1): 1 ~ 8
- 17 漆家福, 杨池银. 黄骅盆地南部前第三系基底中的逆冲构造[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2003, 28(1): 54 ~ 60
- Qi Jiafu, Yang Chiyang. Thrust structure developed in pre-Tertiary basement in south area of Huanghua basin [J]. Earth Science—Journal of China University of Geoscience, 2003, 28(1): 54 ~ 60
- 18 陈清华, 刘池洋, 李琴, 等. 黄骅坳陷徐杨桥—黑龙村潜山带逆冲构造的发现及其意义[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(4): 353 ~ 356
- Chen Qinghua, Liu Chiyang, Li Qin, et al. Discovery and significance of thrust structures in Xuyangqiao-Heilongcun buried hill belt of Huanghua depression [J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(4): 353 ~ 356

(编辑: 李军)

(上接第 309 页)

- 2 顾家裕. 塔里木盆地沉积层序特征及其演化[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996. 298
- Gu Jiayu. Depositional sequences and evolution of Tarim basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1996. 298
- 3 陈景山, 王振宇, 代宗仰, 等. 塔中地区中上奥陶统台地镶边体系分析[J]. 古地理学报, 1999, 1(2): 8 ~ 16
- Chen Jingshan, Wang Zhenyu, Dai Zhongyang, et al. Study of the Middle and Upper Ordovician rimmed carbonate platform system in the Tazhong area, Tarim Basin [J]. Journal of Palaeogeography, 1999, 1(2): 8 ~ 16
- 4 陈永武. 储集层与油气分布[M]. 北京: 石油工业出版社, 1995. 287
- Chen Yongwu. Reservoirs and petroleum distribution [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1995. 287
- 5 James N P, Choquette P W. Paleokarst [M]. New York: Springer-Verlag, 1988. 416
- 6 Allen J R, Wiggins W D. Dolomite reservoirs—geochemical techniques for evaluating origin and distribution [M]. Tulsa, Oklahoma, USA: AAPG, 1993. 129
- 7 樊太亮, 刘金辉, 韩革华, 等. 新疆塔里木盆地北部应用层序地层学[M]. 北京: 地质出版社, 1997. 180
- Fan Tailiang, Liu Jinhui, Han Gehua, et al. Applying sequence stratigraphy in northern Tarim basin, Xinjiang [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997. 180
- 8 樊太亮, 李庆谋. 沉积基准面变化分析技术及其应用[J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(2): 108 ~ 114
- Fan Tailiang, Li Qingmou. Analytical techniques of sedimentary base-level and their application [J]. Oil & Gas Geology, 1997, 18(2): 108 ~ 114
- 9 樊太亮, 刘金辉. 塔里木盆地北部震旦系古生界层序地层特征[J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(2): 120 ~ 127
- Fan Tailiang, Liu Jinhui. Sequence stratigraphic features of Sinian-Paleozoic in north Tarim basin [J]. Oil & Gas Geology, 1997, 18(2): 120 ~ 127
- 10 刘忠宝, 于炳松, 李廷艳, 等. 塔里木盆地塔中地区中上奥陶统碳酸盐岩层序发育对同生期岩溶作用的控制[J]. 沉积学报, 2004, 22(1): 103 ~ 109
- Liu Zhongbao, Yu Bingsong, Li Tingyan, et al. Sequence development controls on syngensis karst of the Middle-Upper Ordovician carbonate in Tazhong area, Tarim basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22(1): 103 ~ 109
- 11 陈开远, 孙爱霞, 杜宁平. 成油体系中的层序地层学[J]. 石油与天然气地质, 1998, 19(3): 221 ~ 226
- Chen Kaiyuan, Sun Aixia, Du Ningping. Sequence stratigraphy in oil-forming system [J]. Oil & Gas Geology, 1998, 19(3): 221 ~ 226

(编辑: 李军)